資料３－４

# 日本原子力学会　原子力発電部会
# 「次期軽水炉の技術要件検討」
# ワーキンググループ（フェーズ2）

【第３回議題】

## 次期軽水炉の重要コンセプトに関する議論

## （安全性その2）

2022.9.16

本資料は議論用のものであり、今後も継続して議論を行っていくため、来年度発行予定のWG報告書と内容が若干変更になる可能性があります。

# はじめに

本資料は、「次期軽水炉の技術要件検討」WG(フェーズ2)報告書(案)の4.3~4.6節の内容を纏めたものである。

4. 次期軽水炉の安全設計思想

4.3 外的事象への対応

4.4 APCその他テロ対策

4.5 不確かさへの備え

4.6 安全性向上に資する最新技術の反映

4.3 外的事象への対応

4.3.1 ハザードに対する設計基準の考え方

4.3.2 外的事象における共通要因故障への対応の考え方

(1) 共通要因故障における影響

(2) 外的事象で発生する共通要因故障リスクへの対応の考え方

4.3.3 設計における裕度（マージン）の取り方

4.3.4 外的事象への対応の考え方

4.3.5 外的事象への対応に関するまとめ

# 4.3 外的事象への対応（1/12）

## 4.3 外的事象への対応

- 1F事故の教訓の原点に立ち返った議論として、地震などの外的事象で発生する共通要因故障リスクへの対応方針・技術要求事項等について、建屋構造の頑健化、分離設計の徹底等の新設ならではの次期軽水炉の優位な特長を基に検討する。

### 4.3.1 ハザードに対する設計基準の考え方

- 外的事象については、IAEAやNRCのガイドに基づき既設プラントでは最新の考え方・選定プロセスにより設置許可基準におけるハザードの要求*が規定されており、設置許可申請書ではサイト条件等を踏まえて設計基準において想定されるハザードが選定される。（*添付-1「設置許可基準におけるハザードの要求」参照）
- 次期軽水炉において考慮する外的事象の種類及びそれらの設計基準は、最新知見を考慮の上、設計余裕を加味し適切に設定することとする。

表4.3-1　ハザードの例

| 内的事象 | 機器故障や人的過誤に起因する事象 | | |
|---|---|---|---|
| 外的事象 | 内部ハザード | 内部溢水、内部火災、内部発生飛散物（タービンミサイル）、配管ホイッピング | |
| | 外部ハザード | 自然事象 | 地震、津波、高潮、風（台風）、降水（豪雨）、積雪、竜巻、落雷、洪水、地滑り、凍結（極低温）、火山噴火、森林火災、生物学的事象 |
| | | 人為事象 | 電磁的障害、船舶の衝突、有毒ガス |

# 4.3 外的事象への対応（2/12）

## 4.3.2 外的事象における共通要因故障への対応の考え方

### (1) 共通要因故障における影響

- 地震、津波等の外的事象は、ひとつの要因で複数の機器が同時に故障する「共通要因故障」をもたらす代表例であり、安全設計において「共通要因故障」の防止は最重要課題とされる。
- 外的事象という共通要因により、「事故と発端となる起因事象の発生」、「異常・故障の事故への拡大」、「事故の制御、重大事故への対処のための設備の機能喪失・低下」等の様々な事態が同時に発生する可能性がある。
- さらに、事故への対処を行う人員や組織も同時に影響を受け、事故時の対応に影響を及ぼす可能性がある。
- 以上より、外的事象の特徴を考えれば、深層防護を支える設備の共通要因故障により、複数の防護レベルが同時に喪失する可能性が出てくる。

# 4.3 外的事象への対応（3/12）

## (2) 外的事象で発生する共通要因故障リスクへの対応の考え方

- 外的事象対策においては、「異常・故障の発生防止」「異常・故障の拡大防止、事故の制御」「重大事故への対処」等の関わる設備が共通要因により同時に機能喪失する状況を回避する必要がある。
- ここで自然現象にはそれぞれの特徴があり、安全確保の観点から、その特徴を属性として整理し、その属性に応じた適切な対策をとることが有効であると考えられる。（表4.3-2「自然現象の属性」参照）

  例えば、地震については、設備の耐力の特性（応答や耐力のばらつき）や再来性も考慮して適切な設計裕度を設けて基準地震動を適切に設定すること、その上で耐性強化として建屋の埋込み効果を考慮した設計手法をとること、また、随伴事象（火災や溢水等）を想定した対応を検討すること等、属性に応じた対策を講じることが有効。
- また、設計の考え方として、多様性の確保（異なる原理による設計の多様性と据付位置による多様性）や独立性の強化（区画分離、分散配置等）、最新の知見を踏まえた設計基準の設定において設計裕度（マージン）を拡大することにより設備の耐性を強化すること等が考えられる。これら設計段階から柔軟な対応ができる新増設・リプレースならではの特長を生かした防護策が可能となる。

# 4.3 外的事象への対応（4/12）

表.4.3-2　自然現象の属性*

| | |
|---|---|
| 時間余裕 | 影響が大きくなる時間的余裕が大きな自然現象に対しては、原子炉停止や除熱系の待機、被災の回避等の対応が取れる。仮に事故が起きた場合でもその事象進展がゆっくりとなり、対応の困難さを軽減することにつながる。 |
| 低頻度領域の扱い | 竜巻のように残存リスクを支配する低頻度領域ハザードが確率分布の外挿部分（テール）に依拠する度合いが高い場合、その領域のハザードの信頼性が低くなるため、頻度の議論の有効性が低い。 |
| 耐力の特性 | 地震に対しては同じ設備でもその応答や耐力にばらつきがあり、一律に損傷することはなく、ランダム性が存在し相当程度の粘りが期待できる。一方で、津波に対しては水を被るか被らないかで機能喪失の有無が変わり、突然クリフエッジを迎え得る。 |
| 再来性 | 地震のように前震，本震，余震といったその現象が複数回にわたって発生する自然現象ではこの再来性を考慮する必要がある。 |
| 継続性 | 降雪や降灰のように荷重が継続的に残存する自然現象では、復旧活動への影響を十分に考慮する必要がある。 |
| 重畳事象 | 地震の発生と従属して発生する津波は随伴事象として考慮するが、必ずしも従属性がない自然現象により原子炉施設に対して重複した荷重や影響を付与し得るものがあることに留意する必要がある。 |
| 随伴事象 | 地震の発生後、直接的影響だけではなく、従属的に火災や溢水が発生し得る。このような随伴事象は自然現象毎に検討する必要がある。 |
| 被害の影響範囲の相違 | 地震のように発電所のみならず当該地域も含めて影響を受ける自然現象と竜巻のように影響エリアが限定されるものとでは、事前の備えや復旧、特に所外からの支援の容易性が大きく異なる。 |

*添付-2日本原子力学会 原子力安全部会 外的事象に対する安全確保の高度化WG「外的事象に対する原子力発電所の安全対策に関する経過報告」2021年4月20日より引用し整理した。

# 4.3 外的事象への対応（5/12）

## 4.3.3 設計における裕度（マージン）の取り方

- 防護性能を高めるため機器・設備のハザードに対する耐性を設計裕度の取り方は設計を進める過程において適宜考慮していくことが可能であり、以下の様な対応が考えられる。

  ①入力条件にて一定の裕度を加算しておく方法（設計用地震力等）

  ②評価の手法（設計・計算モデル等）にて裕度を設ける方法

  ③評価の判定値（物性許容値等）に裕度を設ける方法

- 新設・リプレースにおいては、設計段階から柔軟な対応が可能であり、設計を進めていく上でのスパイラルアプローチの初期段階では、上記①の項目から適切に設定していくことができ、効果的・合理的な対応が可能となる。

# 4.3 外的事象への対応（6/12）

## 4.3.4 外的事象への対応の考え方

設計への影響が大きい代表的な外的事象への対応の考え方を示す。

### ①　地震

- 地震力に対抗する建屋の増厚や機器の支持構造物の増強の方策等の耐性強化を図ることによる耐震設計を実施することになる。つまり、地震力の増加に伴い建屋および機電設備の物量も増加傾向になる。なお、地震力が一定の場合は建屋と機電設備の物量は相反関係になる。
- 地震力が1000galレベルに増大するような非常に厳しい条件を想定する場合、上記の耐震設計から更に高度化し、建屋を強固な岩盤に埋め込むことによる効果で地震応答を低減する方策が考えられる。このような敷地レベル・設置方法まで踏み込んだ抜本的な地震応答の低減策の可能性も設計段階から柔軟な対応ができる新設ならではの対応である。
- 以上、建屋及び機器設備の物量と土木物量との総合評価（工期の影響含む）にて効果的かつ合理的に耐震性を向上させる。

# 4.3 外的事象への対応（7/12）

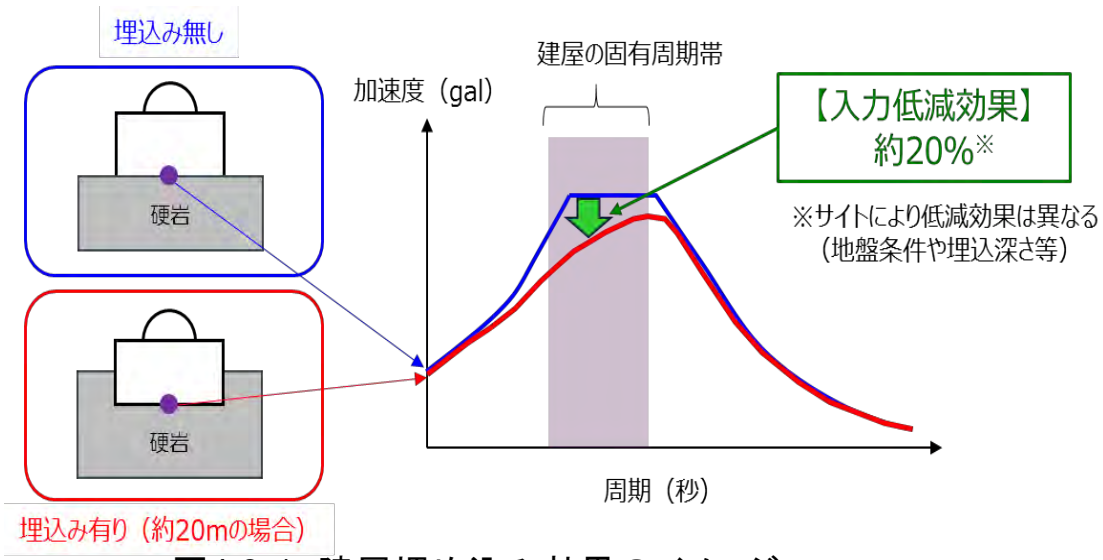



図4.3-1　建屋埋め込み効果のイメージ

表4.3-3　効果vs経済性の関係イメージ

| 建屋埋込み | | 「無」の場合 | 「有」の場合 | 考察 |
|---|---|---|---|---|
| 効果 | 地震応答（発生加速度） | ベース | 低減 | 総合的に効果的/合理的な耐震設計を指向する |
| 影響 | 建屋（鉄筋/ｺﾝｸﾘｰﾄ量） | ベース | 減少方向 | |
| | 機器（支持構造物量） | ベース | 減少方向 | |
| | 土量（岩掘削量） | ベース | 増加方向 | |
| | 建設工事期間 | ベース | 上記より決まる | |

# 4.3 外的事象への対応（8/12）

## ② 津波・洪水

- 津波や洪水については、影響の有無で設備の機能喪失の有無が突然生じ得るクリフエッジ性が高い事象であることを考慮する。
- 新増設・リプレースにおける設計初期段階の敷地計画時点で対応できる方法として、敷地レベル嵩上げによるドライサイト化で、想定する津波に対して裕度を確保する。
- 万一、想定高さを超える津波の襲来した場合をも考慮し、敷地レベル1階層は水密化対策を施しハザードへの耐性を強化。併せて、建屋内では中央制御室や電気計装盤室を極力上層階に設置する。
- また、津波による漂流物の衝撃等による影響も考慮して耐性を確保する。

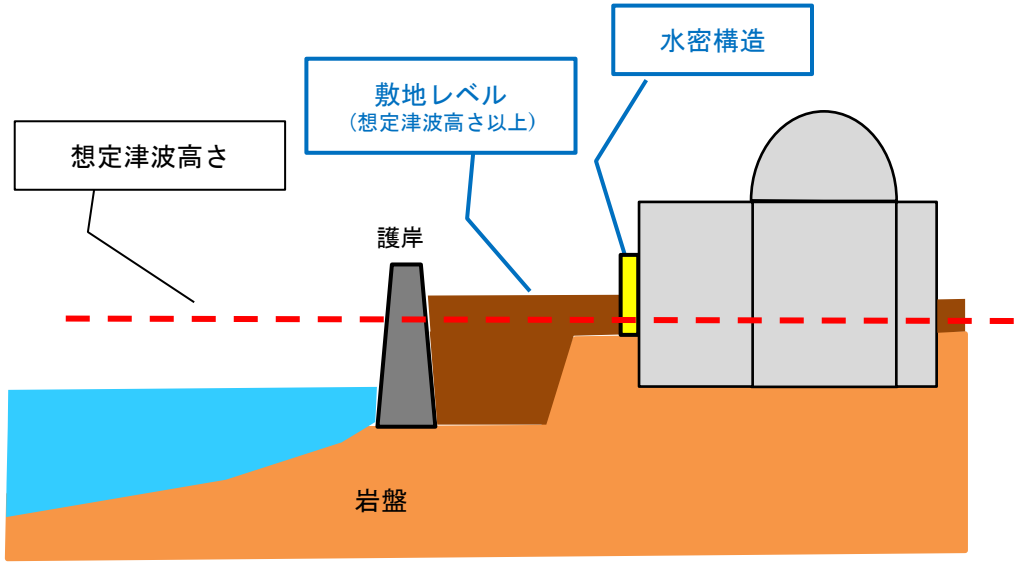



図4.3-2　津波対策イメージ図

# 4.3 外的事象への対応（9/12）

## ③ 風（台風）・竜巻

- 建屋レイアウト・構造設計段階にて、安全上重要な機器・設備は堅牢な建屋内に収納することにより、想定するハザードに対して安全機能を損なうことのない設計とする。
- 安全上重要な機器・設備を内包する建屋は、竜巻による飛来物も含め、ハザードにより発生する荷重（風圧力、気圧差による圧力、飛来物の衝撃荷重等）に対して構造健全性を維持し安全機能を損なうことのない設計とする。

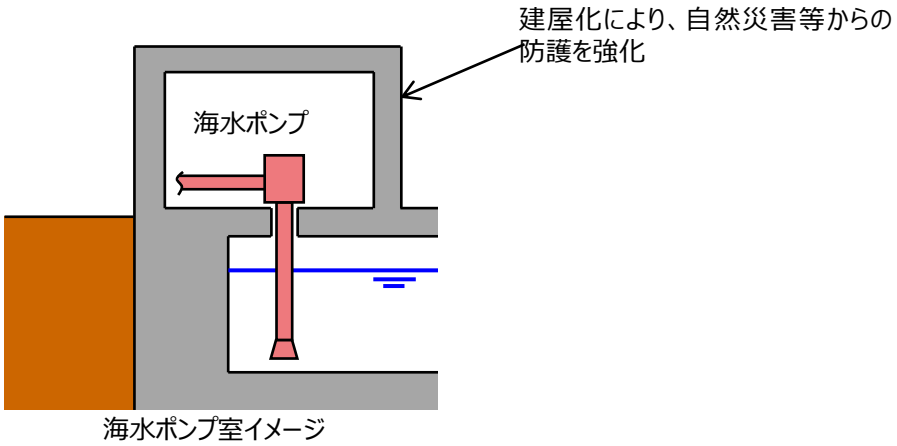



図4.3-3　風（台風）・竜巻対策イメージ図

# 4.3 外的事象への対応（10/12）

## ④ 内部溢水

- 没水、被水、蒸気による影響に対し、建屋レイアウト・構造設計段階にて、トレン間及び防護レベル間の独立性を確保するものとして、建屋内の機器・配管等の配置設計において、溢水区画の限定、トレン間の区画分離を確実に実施する。
- また、高エネルギー配管のルーティングエリアの限定や配管設備等の耐震性強化により安全機能を損なうことのないように設計する。

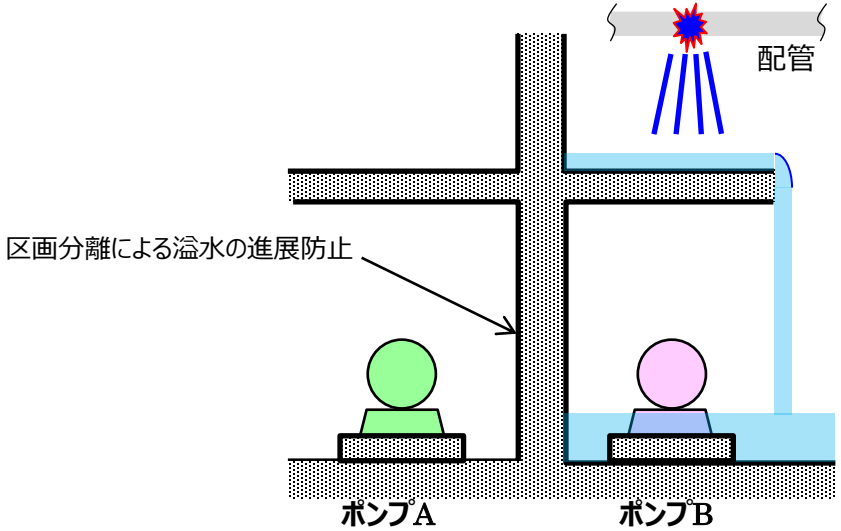



図4.3-4　内部溢水対策のイメージ図

# 4.3 外的事象への対応（11/12）

## ⑤ 内部火災

- 安全上重要な機器・設備は、①火災の発生防止、②火災の感知・消火、③火災の影響軽減の観点より、建屋レイアウト・構造設計段階にてトレン間及び防護レベル間を3時間耐火壁により区画分離し、安全機能を損なうことのないように設計する。
- なお、トレン間の区画分離は火災による区画全損*を前提として設計する。

  *米国Regulatory Guide 1.189の新設プラント向け要求

- また、検知器等に多様性（例：煙感知・熱感知）を持たせることも組み合わせる。

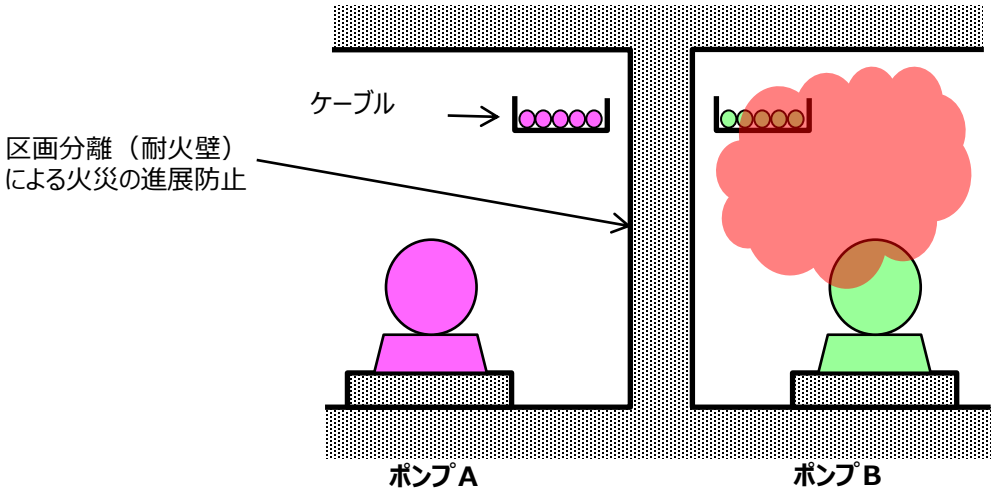



図4.3-5　内部火災対策のイメージ図

# 4.3 外的事象への対応（12/12）

## 4.3.5 外的事象への対応に関するまとめ

- 外的事象は共通要因故障をもたらす代表例であり、「異常・故障の発生防止」「異常・故障の拡大防止、事故の制御」「重大事故への対処」等の関わる設備が共通要因により同時に機能喪失する状況を回避する必要がある。
- 次期軽水炉においては設計段階から柔軟な対応が可能であることから外的事象に対する高い堅牢性、独立性の強化を設計段階から計画することで安全性を向上させることが可能である。
- そのため、自然現象の属性に応じた適切な対策をとること、多様性を確保し、独立性を強化すること、適切な設計裕度（マージン）をとることにより設備の耐性を強化すること等、効果的かつ合理的な対策を講じるものとし、これら設計段階から柔軟な対応が可能な新増設・リプレースならではの特長を生かした防護策となるものである。
- なお、外的事象、特に規模が大きく発生頻度が稀な自然事象には、4.5節で述べるように発生時の規模、性状、発生頻度の予測には不確かさがあり得るため、次期軽水炉における対応策の検討においては、外的事象に特有の不確かさを踏まえた総合的な安全性向上を目指すものとする。

Intentionally Blank

4.4 APCその他テロ対策

4.4.1 テロ対策（核セキュリティ）

4.4.2 テロによる想定事象と防護対応としての設計要求

4.4.3 核セキュリティとセイフティの両立を考慮した設計の考え方

(1) 核セキュリティとセイフティの両立を考慮した設計

(2) IAEAによる原子力安全と核セキュリティのインターフェースに関する提言

(3) 核セキュリティとセイフティの両立のための取組み

4.4.4 APCその他テロ対策のまとめ

# 4.4 APCその他テロ対策（1/7）

## 4.4 APCその他テロ対策

- 核セキュリティ対策の向上を考慮したプラント設計や核セキュリティとセイフティ（原子力安全）の両立を考慮した設計の考え方について整理する。

### 4.4.1 テロ対策（核セキュリティ）

- テロ対策については以前より米国のB.5.bガイドライン*を参考に想定外事象への対応として使用済燃料プール（SFP）機能維持やプラント冷却機能維持の対策を考慮してきた経緯があり、具体例として、可搬型設備（消防車や可搬ポンプ等）によるSFPへの水補給・スプレイや蒸気発生器への継続的な水補給の配備がある。

  *添付-3「B.5.bガイドライン（NEI 06-12Rev.2）」参照

- 本項ではテロに関する規制等を調査し想定されるテロの整理を行った。

# 4.4 APCその他テロ対策（2/7）

①テロに関する規制等（公開情報に基づく）

a. 国内規制調査

- 平成25年以降に制定された新規制基準等の規制や既設プラントの適合性審査での審査内容について調査。
- テロの項目・場所として、「航空機衝突」、「現場」、「中央制御室、緊急時制御室」、「有毒ガス」と「サイバー攻撃」を確認。

b. 海外規制調査

- 機密情報等で閲覧不可の資料が多く、公開文献に限定し調査。
- 米国、欧州（WENRA含む）及びIAEAに関する規制から、「テロ全般」、「外部攻撃」、「内部脅威」、「サイバー攻撃」及び「航空機衝突」を確認。

# 4.4 APCその他テロ対策（3/7）

## ②テロの想定

国内外規制の記載内容に基づき次期軽水炉として最低限、以下のテロを想定する。

表4.4-1　国内外の規制からのテロの想定

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">テロの想定</th><th colspan="3">国内外規制の記載内容</th></tr>
<tr><th>国内規制</th><th>米国規制</th><th>欧州/IAEA規制</th></tr>
<tr><td colspan="2">航空機衝突</td><td>航空機衝突</td><td>航空機衝突の脅威は設計基準を超える事象</td><td>航空機による脅威</td></tr>
<tr><td rowspan="2">外部攻撃</td><td>車両／船舶攻撃<br>（航空機衝突に包絡）</td><td rowspan="2">－<br>（航空機衝突、大規模火災に包絡）</td><td>車両爆弾攻撃<br>船舶爆弾攻撃</td><td rowspan="2">車両／船舶攻撃</td></tr>
<tr><td>外部脅威者（火器を所持）</td><td>暴力的な外部攻撃等</td></tr>
<tr><td colspan="2">有毒ガス<br>（屋外で有毒ガス散布）</td><td>有毒ガス</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td colspan="2">内部脅威<br>（プラント操作の専門知識を有する）</td><td>中央制御室<br>緊急時制御室</td><td>内部脅威<br>（悪意ある操作）</td><td>インサイダ脅威</td></tr>
<tr><td colspan="2">大規模火災<br>（建屋内の不特定な場所に侵入）</td><td>現場（爆発物による大規模火災）</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td colspan="2">サイバー攻撃</td><td>サイバー攻撃</td><td>サイバー攻撃</td><td>サイバー攻撃</td></tr>
</table>

# 4.4 APCその他テロ対策（4/7）

## 4.4.2 テロによる想定事象と防護対応としての設計要求

- 想定されるテロに対して生じる可能性があるプラントの状態を想定し、その想定事象を防護するために有効と考えられる対応策について考察する。
- 想定事象として、プラントの安全機能への影響が考えられ、冷却機能の喪失や電源の喪失、運転機能の喪失等があり得る。
- これらの防護に有効と考えられる対応策の設計要求としては、以下が考えられ、設計段階から計画しておくべき新設ならではの配慮が効果的である。
  - 建屋そのものを頑健にすること
  - 建屋内の区画分離を徹底すること
  - 機器・設備のレイアウトを工夫すること　等

# 4.4 APCその他テロ対策(5/7)

## 4.4.3 核セキュリティとセイフティの両立を考慮した設計の考え方

### (1) 核セキュリティとセイフティの両立を考慮した設計

- 次期軽水炉では、建屋頑健化や離隔距離・区画分離の徹底による安全対策の耐性を強化している。
- テロに対しても、重要設備の防護対策を強化していること、さらには事象発生後も深層防護の強化で多段の対策が行えることで事象収束が可能となる。
- 一方、建屋内レイアウト設計においては、核セキュリティの観点では、ルートが複雑あるいは不明確で障害が多いほど効果的だが、セイフティの観点ではルートは簡単で明確であり、障害がないほど対処性は向上。この様に核セキュリティとセイフティは相反する設計要求となる場合があり得るため、双方の要求をバランス良く両立させる適切な設計を行うことも必要である。また、プラントレイアウトの自由度が高い次期軽水炉ではこのような設計を行いやすいと考えられる。

表4.4-2　核セキュリティとセイフティの両立を考慮した設計

| セイフティ<br>(深層防護) | 両立を考慮した設計<br>⇔ | 核セキュリティ<br>(テロ対応) |
|---|---|---|
| • 地震等外的事象からの防護<br>• DBA設備・SA設備の独立性の強化<br>• アクセス性の確保 | • 壁厚増加による頑健な建屋<br>• 区画分離の徹底・機器の分散配置<br>• 適切なアクセスルート設計 | • 衝撃力・振動からの防護<br>• 機器の同時損傷防止<br>• 侵入防止PP対策 |
| (1) テロに対して重要設備の防護対策を強化<br>(2) 深層防護の強化でテロに対しても多段の対策が行えること<br>(3) テロによる事象が進展したとしても収束が可能な高い安全性を指向 | | |

# 4.4 APCその他テロ対策（6/7）

## (2) IAEAによる原子力安全と核セキュリティのインターフェースに関する提言

- IAEAは、原子力安全と核セキュリティの相互補完を通じた強化の上で必須となる両者のインターフェースについて報告しており、以下6項目を重要課題としてまとめている。

  （1）法規制の枠組み　（2）原子力施設の設備　（3）放射線源と関連する施設・活動
  （4）管理体制と原子力安全文化、核セキュリティ文化　（5）緊急時への準備と対応
  （6）分野横断的な側面

- 上記「（2）原子力施設の設備」では、施設の設計・建設において、従来は原子力安全の施策が優先され、核セキュリティの施策は後回しになる傾向であったことを指摘しており、これへの改善として以下を提言している。
  - 設計段階における原子力安全と核セキュリティの統合が有効である
  - 両者の専門家が施設の設計から完成に至るまでの施策を共同で検討・評価する
  - これにより施設における両者のリスクを長期的に見通すことができる

（参考資料）

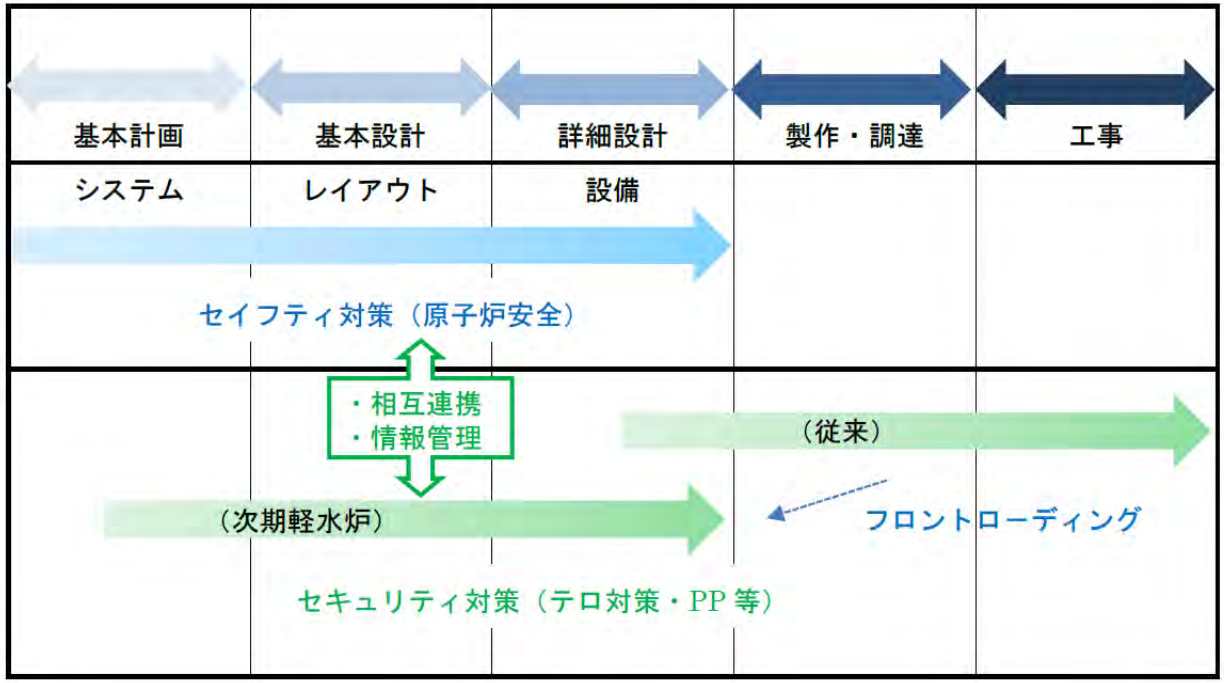

・日本原子力学会誌,Vol.63,No9（2021）「Short Report 原子力安全と核セキュリティのインターフェース」
・IAEA Technical Reports Series No.1000,March 2021「The Nuclear Safety and Nuclear Security Interface：Approaches and National Experiences」

# 4.4 APCその他テロ対策(7/7)

## (3) 核セキュリティとセイフティの両立のための取組み

- 次期軽水炉においては、設計段階から安全対策の計画・検討を進める設計プロセスにてセキュリティ対策をフロントローディングすることで、セイフティと核セキュリティの両立を考慮したプラント設計が可能。
- プラント設計段階において、セキュリティ関係者も設計プロセスに適宜参画して情報管理のもと要件提示することが望まれる。

図4.4-1 セキュリティ対策・設備のフロントローディング



# 4.4 APCその他テロ対策（7/7）

## 4.4.4 APCその他テロ対策のまとめ

- 次期軽水炉においてはテロによって生じる可能性があるプラントの状態を想定し（冷却機能の喪失や電源の喪失、運転機能の喪失等）、安全機能の防護に有効となる対応策を設計段階から計画するものとし、その実現のために、建屋の頑健化や区画分離の徹底、機器・設備のレイアウト適正化等を設計要求として防護対策を実施するものとする。
- また、テロ対策（核セキュリティ）とプラントの安全対策（セイフティ）とは内容によっては相反する要求になり得る場合もあるため、設計段階において安全対策の設計プロセスにて核セキュリティ施策の設計をフロントローディングすることにより、セイフティと核セキュリティの両立を考慮したプラント設計を構築するものとする。
- なお、4.3節の外的事象と同様にテロ対応においても想定を超える事象があり得ることを考慮しておく必要があり、それら設計想定を超える事象の不確かさへの備えを検討するものとする。この不確かさへの備えについては4.5節にて説明する。

Intentionally Blank

4.5 不確かさへの備え

4.5.1 不確かさの要因について

4.5.2 可搬型設備の有効活用の考え方

(1) 可搬型設備の有効活用のための考慮事項

(2) 可搬型設備の有効活用の具体例（PWRの例）

4.5.3 プラント外部からの支援

4.5.4 不確かさへの備えに関するまとめ

# 4.5 不確かさへの備え（1/8）

## 4.5.1 不確かさの要因について

- 次期軽水炉のSA対策は設計段階から系統構成や配置の工夫などを取込むことで恒設設備を基本とした対応を主とし、内的・外的事象を適切に考慮することで十分な耐久力及び多重性、多様性、独立性を確保して安全性向上を図ることを基本方針としている。
- 一方、大規模損壊への対処としては、既設と同等の考え方で可搬型設備を配備することとしている。
- 以上の通り次期軽水炉では恒設設備によるSA対策を充実させて安全性向上を図っている。しかしながら、4.3節で述べたように外的事象には発生時の規模、性状、発生頻度の予測には不確かさがあること、また、内的事象も含めて事故シナリオにも不確かさがあり得ること、テロ対応においても想定を超える事象があり得ることを考慮しておく必要がある。
- そこで本節では、可搬型設備の有効な活用法を検討し、設計想定を超える事象の不確かさへの備えの対応を充実・拡張することについて考察する。

# 4.5 不確かさへの備え（2/8）

## 4.5.2 可搬型設備の有効活用の考え方

- 次期軽水炉では恒設設備を主体として防護策を強化し安全性を高めているが、更なるリスク低減の観点で、各防護レベルにおいて想定を超えた場合に対する可搬型設備の活用について検討する。
- 具体的には、恒設設備で構成している防護レベル4a・4bの各種機能に対して、前項で示した可搬型設備を活用することを検討し、より前段で事象進展を緩和、時間余裕を確保する可能性を確認して不確かさへの備えとする。

# 4.5 不確かさへの備え（3/8）

## (1) 可搬型設備の有効活用のための考慮事項（仕様共通化等）

- 可搬型設備は恒設設備に対し多様性があり、移動して使用できることから分散配備の自由度も高く、対応の柔軟性を有することから、そのメリットを最大限引き出し対処の高度化や運用性の向上に繋げる。そのため以下の設備面や運用面を含めた対応を考慮する。

【設備面の例】

- 可搬型設備の容量、揚程等を防護レベル4a・4bの緩和機能にも使用可能にすること等の設備仕様の共通化
- 恒設の配管への接続用座や仮設タイラインの設置（建屋外面での接続部）
- 複数の接続口（異なる高さ、配置への設置を含む）の設置や接続が容易な共通の接続方式の採用

【運用面の例】

- 常用設備の活用、モータ等の予備品を活用した設備復旧
- シビアアクシデントマネジメント（SAM）の活用を含めた手順書の整備及び教育・訓練の実施

# 4.5 不確かさへの備え（4/8）

(本スライドの内容は、報告書(案)では付属書に記載)

## (2) 可搬型設備の有効活用の具体例（PWRの例）（1/2）

- 次期軽水炉では、大規模損壊への対処として既設炉と同様に可搬型設備を配備することとしている（下表参照）。
- これら可搬型設備の有効活用例を以頁に示す。

表4.5-1　可搬型設備（例）

| 可搬型設備（例） | 配備の考え方 |
|---|---|
| • 大容量ポンプ送水車 | • CV破損や使用済燃料ピット内燃料の著しい損傷が発生した場合の放射性物質の拡散防止を目的<br>• 対象部位に応じ任意の場所での使用を可能とするため可搬型を志向 |
| • タンクローリー | • ポンプへの燃料補給に使用する目的<br>• ポンプが任意の場所に設置される場合への対応として可搬型を志向 |
| • 電源車 | • ポンプの電源に使用する場合、ポンプが任意の場所に設置される可能性があるため電源も可搬型を志向 |
| • 可搬式電源 | • 任意の場所からの給電を可能とするべく可搬型を志向 |
| • 可搬型温度計測装置 | • 任意の配管等で計測を可能とするべく可搬型を志向 |

# 4.5 不確かさへの備え（5/8）

（本スライドの内容は、報告書(案)では付属書に記載）

## (2) 可搬型設備の有効活用の具体例（PWRの例）（2/2）

a. 大容量ポンプ送水車

- 以下、防護レベル4a・4bの各種機能に活用することが考えられる。
  - ・炉心へのほう酸水注入機能（水源：燃料取替用水補助ピット）
  - ・炉心への冷却材補給機能（水源：燃料取替用水補助ピット、海水）
  - ・蒸気発生器への給水機能（水源：海水）
  - ・CVスプレイ機能（水源：燃料取替用水補助ピット、海水）
  - ・CV再循環ユニット通水機能（水源：海水）
  - ・CV下部注水（溶融炉心冷却）機能（水源：燃料取替用水補助ピット、海水）

b. タンクローリー

- 大容量ポンプ送水車への燃料補給だけでなく、非常用DGや空冷DGへの燃料補給に活用することが考えられる。

c. 電源車

- 大容量ポンプ送水車の電源として使用するだけでなく、任意の電源として幅広く活用することが考えられる。

d. 可搬式直流電源/可搬型温度計測装置

- 任意の場所で幅広く活用することができる。

◆ 以上、防護レベル4a・4bの機能に大容量ポンプ等の可搬型設備が活用可能であることが確認でき、可搬型設備は設計上想定するシナリオの不確かさへの備えとして有効である。（参考）表4.5-2「可搬型設備の活用：安全機能に対する整理」

# 4.5 不確かさへの備え（6/8）

(本スライドの内容は、報告書(案)では付属書に記載)

表4.5-2　可搬型設備の活用：安全機能に対する整理（注入・給水機能）

| 安全機能 | 緩和機能 | 対応（恒設設備） | 可搬型設備の活用 |
|---|---|---|---|
| 原子炉停止 | 反応度制御 | ほう酸水注入 | 大容量ポンプ等での注入が可能。ほう酸水源は燃料取替用水補助ピット。 |
| 炉心冷却 | 2次系冷却 | 蒸気発生器への給水 | 大容量ポンプ等での注入が可能。水源は海水。 |
| | フィード＆ブリード | 炉心注入 | 大容量ポンプ等での注入が可能。水源は燃料取替用水補助ピット及び海水（再循環には期待しない）。 |
| 閉じ込め | CV冷却/減圧 | スプレイ | 大容量ポンプ等での注入が可能。水源は燃料燃料取替用水補助ピット及び海水（再循環には期待しない）。 |
| | | 自然対流冷却 | 大容量ポンプ等での海水取水による自然対流冷却の継続は可能。 |
| | 溶融炉心冷却 | 注水 | 大容量ポンプ等での注水が可能。 |
| | | ほう酸水注入 | 大容量ポンプ等での注入が可能。ほう酸水源は燃料取替用水補助ピット。 |

# 4.5 不確かさへの備え（7/8）

## 4.5.3 プラント外部からの支援

- 米国では、想定外の事象に備えて必要機材をサイト内のみではなくサイト外から支援する体制（FLEX）を整備し、プラント外部からの支援（RRC）を強化している。

【FLEX】多様かつ柔軟な対応方策

- 電源及び冷却水の維持または主要な安全機能を修復するための可搬型設備の設置（可搬式ポンプ、発電機、バッテリー、バッテリー充電器、コンプレッサ、ホース、カップリング、その他の補助設備・器具など）
- 多様な場所に機器を配置することにより、そのサイトで予測される厳しい自然現象から可搬型設備を合理的に防護する方策

【RRC】地域対応センター（Regional Response Center）

- 次期軽水炉においては、上記対応例を踏まえ、設備面での配慮事項として可搬型設備のサイト間における仕様共通化や汎用性を考慮しておくことが対応の拡張性に有効と考えられる。但し、サイト間での設備の共用に関しては規制要求との整合性に留意する必要がある。

# 4.5 不確かさへの備え（8/8）

## 4.5.4 不確かさへの備えに関するまとめ

- 外的事象には発生時の規模、性状、発生頻度の予測には不確かさがあるように設計上想定するシナリオには不確かさがあり、リスク低減の観点で不確かさへの備えとして可搬型設備の活用が有効となる。
- 可搬型設備のメリットを最大限引き出し、効果的かつ合理的に活用するものとし、仕様共通化（接続部の共用化含む）や常用設備、予備品の活用等により、設計上の想定を超える事象に対しても事象進展の緩和や時間的な裕度を確保することができる。
- なお、これらはサイト内での配備・対応を主体に検討しているが、海外での事例も参考に将来的にはサイト外からの支援も含めた総合的なマネジメントを検討していくことは更なる安全性向上に向けて有効と考えられる。

Intentionally Blank

## 4.6 安全性向上に資する最新技術の反映

### 4.6.1 技術開発の反映に関する基本的な考え方

### 4.6.2 成果反映の具体例

### 4.6.3 安全性向上に資する最新技術の反映のまとめ

# 4.6 安全性向上に資する最新技術の反映(1/4)

## 4.6 安全性向上に資する最新技術の反映

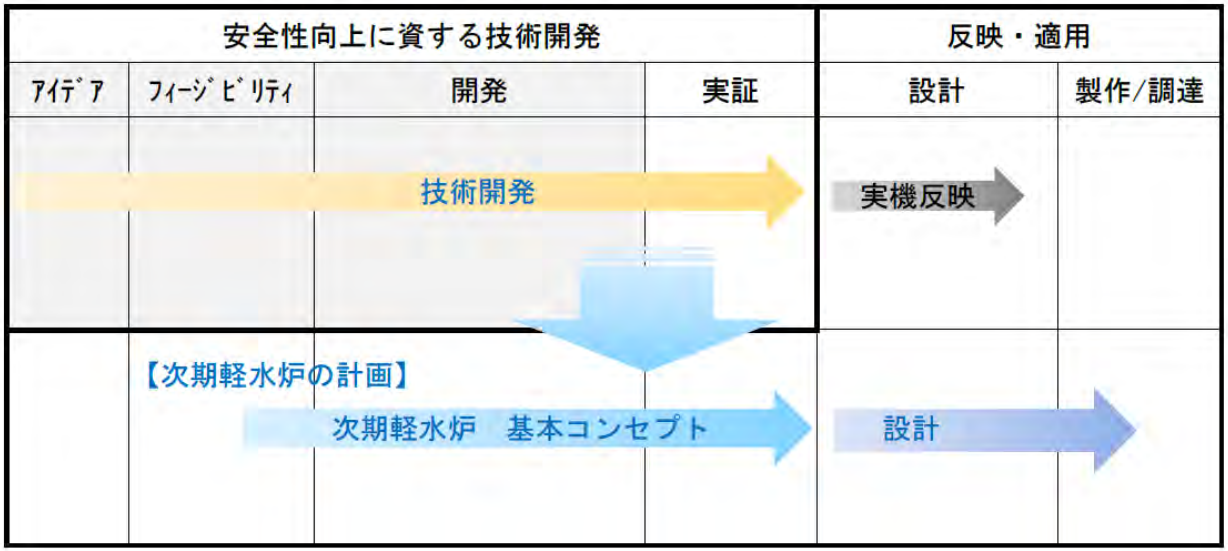
- 次期軽水炉の検討においては、最新鋭の技術開発を取込んで更なる安全性を高めるために、以下のような産官学の広いレンジで開かれた研究・議論する場を積極的に活用しつつ技術開発を進める必要がある。
  - 国内外の最新の安全研究とのコミュニケーション・コラボレーション
  - 国が支援した公益に資する技術開発プログラムへの参画・活用

# 4.6 安全性向上に資する最新技術の反映(2/4)

## 4.6.1 技術開発の反映に関する基本的な考え方

- 技術開発の成果については適切に基本コンセプトに取り入れていくことを基本方針としている。
- ここでの考慮点としては、次期軽水炉は現実味がある優れたコンセプトであることから、最新の技術開発の取り入れについては概ね開発が完了し、また規制適合性も考慮された実証段階である技術を優先する方針である。
- これにより次期軽水炉の基本コンセプトが技術的な観点から現実性が高く国民から信頼されるものであることを実現する。

図4.6-1 安全性向上に資する技術開発の反映



# 4.6 安全性向上に資する最新技術の反映(3/4)

## 4.6.2 成果反映の具体例(PWRの例)

(本スライドの内容は、報告書(案)では付属書に記載)

- 安全性向上に資する技術開発項目の中から、概ね開発が完了し、比較的早期に実機適用可能な項目を抽出して、次期軽水炉への実装を計画している。事故事象発生時の影響を緩和するもの、安全系機器の信頼性を向上させるもの、プラントの事故時耐性を高めるもの等が挙げられる。次期軽水炉への実装を計画する具体例を以下に示す。

| | 項目 | 目的・効果 |
|---|---|---|
| 1 | 1次冷却材ポンプの耐SBOシール | 高温/高圧下での長時間の耐久性を有することでLOCA発生防止に寄与 |
| 2 | ドライキャビティ | 溶融炉心を拡散して冷却することにより、溶融炉心冷却に係る不確かさを低減 |
| 3 | 事故時耐性燃料被覆管(開発中) | 事故発生時においても水蒸気とジルコニウム反応による脆化や水素発生を抑制 |
| 4 | ハイブリッド型高張力鋼製格納容器 | 高強度鋼板による耐圧・耐漏えい機能を強化し閉じ込め機能の信頼性を向上 |
| 5 | 燃料取替用水ピットの格納容器内設置 | 安全系水源を格納容器内とすることで再循環切替失敗を防止することで安全性向上に寄与 |
| 6 | 高性能蓄圧タンク | 低圧注入系の役割を蓄圧注入系に統合することでシステム構成の簡素化を図り信頼性を向上 |
| 7 | 新設計/安全解析コードの適用 | 解析精度を向上させ不確かさを低減、設計及び安全評価の信頼性を向上 |
| 8 | 苛酷事故用計装システムの開発 | 苛酷事故時の格納容器内環境においても計測可能なCV圧力計、CV水位計、水素濃度計を開発し、状況把握時の信頼性を向上 |

詳細は添付-4「安全性向上に資する最新技術の反映(PWRの例)」参照

# 4.6 安全性向上に資する最新技術の反映(4/4)

## 4.6.3 安全性向上に資する最新技術の反映のまとめ

- 今後の原子力施設の一層の安全性向上を目指すべく、最新の科学技術的知見、原子力施設の運転経験の蓄積、最新の海外知見等を踏まえ、技術安全保障の観点も加味しつつ、長期的視点に立って計画的に技術開発を推進していくことは重要であり、次期軽水炉においては、それら成果を積極的に活用し確実かつ効果的な改善に繋げていくこととする。

Intentionally Blank

【添付資料】

添付-1 「設置許可基準におけるハザードの要求」

添付-2 「自然事象の属性」

添付-3 「B.5.bガイドライン（NEI 06-12Rev.2）」

添付-4 「安全性向上に資する最新技術の反映（PWRの例）」

# 添付−1「設置許可基準におけるハザードの要求」(1/4)

| 第二章 | 設計基準対象施設 | 主な規制要求 | ハザード項目 |
|---|---|---|---|
| 第四条 | 地震による損傷の防止 | 設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。 | 地震 |
| 第五条 | 津波による損傷の防止 | 設計基準対象施設(兼用キャスク及びその周辺施設を除く。)は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波(以下「基準津波」という。)に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。 | 津波 |
| 第六条 | 外部からの衝撃による損傷の防止 | 安全施設(兼用キャスクを除く。)は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。次項において同じ。)が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。<br>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。<br>3 安全施設(兼用キャスクを除く。)は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。)に対して安全機能を損なわないものでなければならない。<br><br>(規則の解釈)<br>2 第1項に規定する「想定される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、風(台風)、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象又は森林火災等から適用されるものをいう。<br>8 第3項に規定する「発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。)」とは、敷地及び敷地周辺の状況をもとに選択されるものであり、飛来物(航空機落下等)、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突又は電磁的障害等をいう。<br>なお、上記の航空機落下については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」(平成14・07・29 原院第4 号(平成14年7月30日原子力安全・保安院制定))等に基づき、防護設計の要否について確認する。 | (想定される自然事象)<br>洪水<br>風(台風)<br>竜巻<br>凍結<br>降水<br>積雪<br>落雷<br>地滑り<br>火山<br>生物学的事象<br>森林火災<br>高潮<br>(人為による事象)<br>飛来物(航空機落下等)<br>ダムの崩壊<br>爆発<br>近隣工場等の火災<br>有毒ガス<br>船舶の衝突<br>電磁的障害 |

# 添付-1「設置許可基準におけるハザードの要求」(2/4)

| 第二章 | 設計基準対象施設 | 主な規制要求 | ハザード項目 |
|---|---|---|---|
| 第八条 | 火災による損傷の防止 | 設計基準対象施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、火災の発生を防止することができ、かつ、早期に火災発生を感知する設備(以下「火災感知設備」という。)及び消火を行う設備(以下「消火設備」といい、安全施設に属するものに限る。)並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならない。<br>2 消火設備(安全施設に属するものに限る。)は、破損、誤作動又は誤操作が起きた場合においても発電用原子炉を安全に停止させるための機能を損なわないものでなければならない。 | 火災 |
| 第九条 | 溢水による損傷の防止 | 安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。<br>2 設計基準対象施設は、発電用原子炉施設内の放射性物質を含む液体を内包する容器、配管その他の設備から放射性物質を含む液体があふれ出た場合において、当該液体が管理区域外へ漏えいしないものでなければならない。 | 溢水 |
| 第十二条 | 安全施設 | 安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならない。<br>5 安全施設は、蒸気タービン、ポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物により、安全性を損なわないものでなければならない。 | ミサイル、<br>配管破損防護 |

# 添付-1「設置許可基準におけるハザードの要求」(3/4)

| 第三章 重大事故等対処施設 | | 主な規制要求 | ハザード項目 |
|---|---|---|---|
| 第三十九条 | 地震による損傷の防止 | 重大事故等対処施設は、次に掲げる施設の区分に応じ、それぞれ次に定める要件を満たすものでなければならない。<br>一 常設耐震重要重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く。) 基準地震動による地震力に対して重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。<br>二 常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く。) 第四条第二項の規定により算定する地震力に十分に耐えることができるものであること。<br>三 常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く。) 基準地震動による地震力に対して重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。<br>四 特定重大事故等対処施設 第四条第二項の規定により算定する地震力に十分に耐えることができ、かつ、基準地震動による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。<br>2 重大事故等対処施設は、第四条第三項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。<br>(解釈)<br>4 第1 項第4号に規定する「特定重大事故等対処施設」に「基準地震動による地震力に対してその重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないもの」を適用する場合、基準地震動に対する設計基準上の許容限界は設計基準と同じものを適用する(例えば、基準地震動に対して設計基準上の許容値を適用する。)が、設計基準における措置とは性質の異なる対策(多様性)を講じること等により、基準地震動を一定程度超える地震動に対して頑健性を高めること。 | 地震 |
| 第四十条 | 津波による損傷の防止 | 重大事故等対処施設は、基準津波に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。<br>(解釈)<br>2 第40条に規定する「基準津波に対してその重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないもの」を特定重大事故等対処施設に適用する場合、基準津波に対する設計基準上の許容限界は設計基準と同じものを適用するが、設計基準における防護措置とは性質の異なる対策(多様性)を講じること等により、基準津波を一定程度超える津波に対して頑健性を高めること。 | 津波 |

# 添付-1「設置許可基準におけるハザードの要求」(4/4)

| 第三章 重大事故等対処施設 | | 主な規制要求 | ハザード項目 |
|---|---|---|---|
| 第四十一条 | 火災による損傷の防止 | 重大事故等対処施設は、火災により重大事故等に対処するために必要な機能を損なうおそれがないよう、火災の発生を防止することができ、かつ、火災感知設備及び消火設備を有するものでなければならない。 | 火災 |
| 第四十二条 | 特定重大事故等対処施設<br>・ 大型航空機の衝突<br>・ その他のテロリズム | 工場等には、次に掲げるところにより、特定重大事故等対処施設を設けなければならない。<br>一 原子炉建屋への故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムに対してその重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。<br>二 原子炉格納容器の破損を防止するために必要な設備を有するものであること。<br>三 原子炉建屋への故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムの発生後、発電用原子炉施設の外からの支援が受けられるまでの間、使用できるものであること。<br>(解釈)<br>1 第1号に規定する「原子炉建屋への故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムに対してその重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること」とは、以下に掲げる設備又はこれらと同等以上の効果を有する設備とする。<br>(a) 原子炉建屋及び特定重大事故等対処施設が同時に破損することを防ぐために必要な離隔距離(例えば100m 以上)を確保すること、又は故意による大型航空機の衝突に対して頑健な建屋に収納すること。 | 故意による大型航空機の衝突<br>その他のテロリズム |
| 第四十三条 | 重大事故等対処設備 | 重大事故等対処設備は、次に掲げるものでなければならない。<br>2 重大事故等対処設備のうち常設のもの(重大事故等対処設備のうち可搬型のもの(以下「可搬型重大事故等対処設備」という。)と接続するものにあっては、当該可搬型重大事故等対処設備と接続するために必要な発電用原子炉施設内の常設の配管、弁、ケーブルその他の機器を含む。以下「常設重大事故等対処設備」という。)は、前項に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならない。<br>三 常設重大事故防止設備は、共通要因によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。<br>3 可搬型重大事故等対処設備に関しては、第一項に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならない。<br>五 地震、津波その他の自然現象又は故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムによる影響、設計基準事故対処設備及び重大事故等対処設備の配置その他の条件を考慮した上で常設重大事故等対処設備と異なる保管場所に保管すること。<br>七 重大事故防止設備のうち可搬型のものは、共通要因によって、設計基準事故対処設備の安全機能、使用済燃料貯蔵槽の冷却機能若しくは注水機能又は常設重大事故防止設備の重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。 | 常設<br>「共通要因」を設計基準対象設備の事象と想定し、同時にその機能が損なわれないよう適切な措置を講じる<br><br>可搬型<br>地震、津波、その他の自然現象、故意による大型航空機の衝突、その他のテロリズムによる影響等を考慮し、常設重大事故等対処設備と異なる保管場所に保管する |

# 添付-2「自然事象の属性」(1/2)

以下、日本原子力学会 原子力安全部会 外的事象に対する安全確保の高度化WG「外的事象に対する原子力発電所の安全対策に関する経過報告」2021年4月20日(P.14)より引用

---

自然現象にはそれぞれの特徴があり、安全確保の観点から、その特徴を属性として整理すると以下の様な属性が考えられ,、その属性に応じた適切な対策をとることが有効である。

- 時間余裕

  自然現象の影響が大きくなる時間的余裕が大きな自然現象に対しては、原子炉停止や除熱系の待機、被災の回避等の対応が取れる。事前に停止した場合には、崩壊熱レベルが下がることになり、仮に事故が起きた場合でもその事象進展がゆっくりとなり、対応の困難さを軽減することにつながる。

- 低頻度領域の扱い

  竜巻のように残存リスクを支配する低頻度領域ハザードが確率分布の外挿部分（テール）に依拠する度合いが高い場合、その領域のハザードの信頼性が低くなるため、頻度の議論の有効性が低い。特に物理モデルにより裏打ちされない頻度評価モデルを用いている場合には、発生し得ない規模のハザードを低頻度事象として評価してしまう恐れがある。

- 耐力の特性

  地震に対しては同じ設備でもその応答や耐力にばらつきがあり、あるレベルのハザードで一律に損傷することはなく、ランダム性が存在し、相当程度の粘りが期待できる。一方で、津波に対しては水を被るか被らないかで機能喪失の有無が変わり、突然クリフエッジを迎え得ることから、このような観点を踏まえた設計なりマネジメントを考える必要がある。

- 再来性

  地震のように前震，本震，余震といったその現象が複数回にわたって発生する自然現象ではこの再来性を考慮する必要がある。ただし、再来性は確率事象であることに留意する必要がある。

# 添付-2「自然事象の属性」(2/2)

（続き）

・　継続性

竜巻のような一過性の影響しか与えない自然現象に対し、降雪や降灰のように荷重が継続的に残存する自然現象では、復旧活動への影響を十分に考慮する必要がある。

・　重畳事象

地震の発生と従属して発生する津波は随伴事象として考慮するが、必ずしも従属性がない自然現象により原子炉施設に対して重複した荷重や影響を付与し得るものがあることに留意する必要がある。ただし、無条件であらゆる組み合わせの自然現象の重畳を考慮するのではなく、検討する設計想定を超える事象の頻度と、組み合わせる自然現象の条件付き確率を考慮することが適切である。

・　随伴事象

地震の発生後、直接的影響だけではなく、従属的に火災や溢水が発生し得る。このような随伴事象は自然現象毎に検討する必要がある。

・　被害の影響範囲の相違

地震のように発電所のみならず当該地域も含めて影響を受ける自然現象と竜巻のように影響エリアが限定されるものとでは、事前の備えや復旧、特に所外からの支援の容易性が大きく異なる。ハザード源（例えば森林火災）とプラントとの距離が離れていれば、その影響が出にくいという例になる。また、竜巻は進行方向に指向性があり、それを考慮した分散配置が有効になる場合もある（NEI12-06, “The axis of separation should consider the predominant path of tornados in the geographical location.”）。

# 添付-3 「B.5.bガイドライン（NEI 06-12Rev.2）」

B.5.bガイドライン（NEI 06-12Rev.2）

- 米国NRCの安全保障・セキュリティ確保手段に関する暫定補償措置命令（EA-02-026）/10CFR50.54（hh）への対応として産業界（NEI）がNRCに提出した設計基準外事象（特にテロ攻撃による大規模な爆発または火災）に対処するガイドライン。そこでは次の4項目に力点をおいている。

  ①使用済燃料貯蔵プールへの内部からの水補給に関する戦略

  ②使用済燃料貯蔵プールへの外部からの水補給およびスプレイに関する戦略

  ③原子炉及び格納容器に対する強化された指揮・命令機能

  ④原子炉及び格納容器に対する強化された対応戦略

# 添付-4 「安全性向上に資する最新技術の反映（PWRの例）」（1/3）

① 1次冷却材ポンプの耐SBOシール（シャットダウンシール）

- 高温/高圧条件下でも長時間の耐久性を有することで、LOCA発生防止に寄与し更なる安全性向上を実現。
- 安定な運転実績を有する3段シール（耐熱Oリング）に加え、SBO時に高温/高圧条件下に晒された時のみ作動するシャットダウンシールを採用した機構。

（主な技術開発要素）

- シャットダウンシール開発

  安全性向上の観点から、重大事事故時の事象の進展を抑制又は防止するRCPシール機構の開発、重大事故時のRCPシール破損による漏洩を防止可能な機構の開発・実証

② ドライキャビティ（溶融炉心冷却対策）

- 専用設備（コアキャッチャ）をRV下方に設置する溶融炉心冷却対策。コアキャッチャに溶融炉心を拡散して冷却することから、溶融炉心冷却に係る不確かさを低減し、CV内部コンクリートのMCCIは発生させず、また溶融炉心を水中に放出しないため、炉外での水蒸気爆発の発生リスクを大きく抑制できる。
- RV破損前に溶融炉心を冷却するための早期の水張が不要であり、かつ、溶融炉心を拡げることで冷却性の向上が可能。

（主な技術開発要素）

- 犠牲材コンクリート開発

  安全性向上の観点から、シビアアクシデント時における溶融炉心の冷却、及び格納容器のメルトスルー発生防止策の技術開発、溶融炉心の冷却性を高める低粘性化材の開発

# 添付-4 「安全性向上に資する最新技術の反映（PWRの例）」（2/3）

③ 事故耐性燃料被覆管（開発中）

- Crコーティング被覆管。万一の事故発生時においても水蒸気とジルコニウム反応による脆化や水素発生を抑制する。

（主な技術開発要素）

- 事故耐性燃料開発

  安全性向上の観点から、事故時の事象の進展を抑制または緩和する事故体制の高い燃料の開発、事故時における水素発生量の低減による事故耐性や通常運転時の耐摩耗性、耐食性の向上

④ ハイブリッド型高張力鋼製格納容器（HHCV）

- 高強度鋼板を用いることで、耐圧、耐漏えい機能を強化し、閉じ込め機能の信頼性を向上させている。

（主な技術開発要素）

- SCV鋼板への高張力鋼の採用
- 基礎定着構造の変更

⑤ 燃料取替用水ピットの格納容器内設置（IRWSP）

- 安全系水源をCV内設置とすることでプラントの安全性向上に寄与（再循環切替失敗の防止）

（主な技術開発要素）

- LOCA時の早期デブリ炉内侵入防止対策

# 添付-4 「安全性向上に資する最新技術の反映（PWRの例）」（3/3）

⑥ 高性能蓄圧タンク

- 低圧注入系の役割を蓄圧注入系に統合する事でシステム構成の簡素化を実現し、システムの信頼性が向上
- うず巻きダンパによるパッシブな流量切替

（主な技術開発要素）

- パッシブな流量切替を実現するうず巻きダンパ
- 事故シナリオを考慮したタンク容量、流量切替タイミング、大流量、小流量の最適化

⑦ 新設計/安全解析コードの適用

- 最新技術や最新知見を取り込んだ解析コードを適用する事で解析精度を向上させ、不確かさを低減。設計及び安全評価の信頼性が向上。

（主な技術開発要素）

- 計算機能力の向上にあわせて3次元モデルを導入することにより、物理現象をより精緻に評価。（炉心過渡応答解析）
- 従来は境界条件を与えて別々に計算していたが、核-熱結合モデルを導入して同時計算することで保守性を適性化。（プラント過渡応答解析）
- 燃料の高燃焼度データを拡充し、予測精度を高める。（燃料棒解析）

⑧ 苛酷事故用計装システムの開発

- SA時のCV内の状況（圧力、温度、水素濃度）を信頼性高く計測することにより、事故対応能力が向上。

（主な技術開発要素）

- SA時に監視が必要となるパラメータを抽出し、SA時に想定される環境条件下（高温、高圧、高放射線）でも計測可能な計器を開発。